

Posebno izdanje 2018.

Hercegovina – zemlja kamena



Prikaz rezultata geotehničkih istraživanja vapnenaca u Hercegovini

Stručni rad/ Professional paper
Primljen/Received: 11. 9. 2018.;
Prihvaćen/Accepted: 17. 9. 2018.

Prof. dr. Maja Prskalo

Građevinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

Irena Leko

IGH d.o.o. Mostar

Josip Marinčić

JP Elektroprivreda HZ HB d.d. Mostar

Sažetak: U proteklom periodu su na području Hercegovine izvršena značajna istraživanja u srhu utvrđivanja inženjersko-geoloških i geotehničkih značajki terena za izgradnju različitih građevina. Provedena istraživanja, usmjerena su na istražna bušenja te laboratorijska ispitivanja fizičko-mehaničkih značajki sa ciljem klasifikacije stijenske mase, najčešće po RMR ili GSI klasifikaciji uzevši u obzir sljedeće parametre: jednoosnu tlačnu čvrstoću, indeks kvalitete jezgre (RQD), razmak diskontinuiteta, stanje diskontinuiteta, orijentaciju diskontinuiteta i stanje podzemne vode.

U radu su prikazani rezultati geotehničkih istraživanja vapnenaca kredne i eocenske starosti, sa više lokacija, koja mogu poslužiti za usmjeravanje daljih istraživanja vapnenaca prvenstveno u cilju njegova korištenja kao tehničkog ili arhitektonsko-građevnog kamena.

Ključne riječi: vapnenac, tlačna čvrstoća, RQD, RMR

Presentation of results of the geotechnical investigations of limestone in Herzegovina

Maja Prskalo, Ph.D.

Faculty of Civil Engineering University of Mostar

Irena Leko

IGH d.o.o. Mostar

Josip Marinčić

PC Elektroprivreda HZ HB d.d. Mostar

Abstract: Significant research aimed at determining engineering geological and geotechnical properties of the terrain for construction of different structures has been carried out in the Herzegovina region in the past period. Considering the geotechnical character, the conducted investigations were focused on exploratory boring and laboratory tests of physical and mechanical properties for the purpose of classifying the rock mass, usually according to the RMR or GSI classification, taking into account the following parameters: uniaxial compressive strength, core rock quality designation (RQD), spacing of discontinuities, condition of discontinuities, orientation of discontinuities and groundwater conditions.

The paper presents the results of geotechnical investigations of limestones of Cretaceous and Eocene age, from several locations, which can be used to direct further investigations of limestone, primarily for the purpose of using it as dimension stone.

Key words: limestone, compressive strength, RQD, RMR



1. UVOD

U radu su prikazani rezultati istraživanja/ ispitivanja stijenske mase – vapnenca kredne i eocenske starosti. Istraživanja su obavljena za potrebe projektiranja infrastrukturnih objekata - autoceste na koridoru Vc i energetskih objekata na području Hercegovine, prikazanih kao 6 područja:

PODRUČJE 1: POČITELJ - DRETELJ

PODRUČJE 2: ZVIROVIĆI – STUDENCI

PODRUČJE 3: ZVIRIĆI – STUBICA

PODRUČJE 4: BIJAČA

PODRUČJE 5: KLOBUK

PODRUČJE 6: TOMISLAVGRAD-GORNJI BRIŠNIK

U radu su prikazani rezultati geotehničkih istraživanja vapnenaca kredne i eocenske starosti na 18 lokacija, pri čemu su obrađeni podaci sa preko 80 istražnih bušotina. Laboratorijska ispitivanja su obavljena u laboratorijama poduzeća IGH-Mostar i IGH-Split.

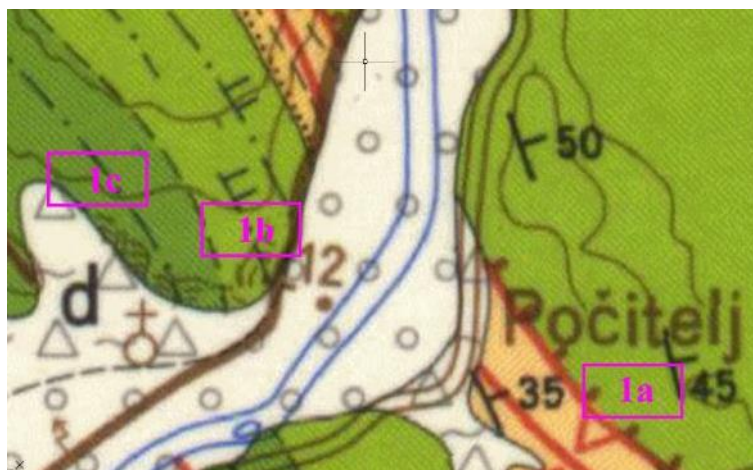
Prikazani rezultati su kratki rezime geotehničkih istraživanja i mogu poslužiti za usmjeravanje daljih istraživanja vapnenaca prvenstveno u cilju njegova korištenja kao tehničkog ili arhitektonsko-građevnog kamena odnosno mogu poslužiti kao „reper“ za planiranja istraživanja tehničkog ili AG kamena.

Za svaku lokaciju su prikazane litostratigrafske te osnovne fizičko-mehaničke značajke vapnenca.

2. PRIKAZ REZULTATA

PODRUČJE 1: POČITELJ - DRETELJ

Izdvojeno područje obuhvaća kredne vapnence koji grade litice kanjona r. Neretve.



Slika 1. Područje 1; Isječak iz OGK list Metković sa pozicijama istraženih lokacija

Lokacija 1a: Počitelj

Bušotine: ST-03, SO-05, SO-06 i SO-07

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI; gornja kreda – turon-senon ($K_2^{2,3}$).

Opis stijene: Vapnenaci tipa madston do floutston bankovit do masivan, često razlomljen, malo trošan, svijetlosivi, s ostacima rudista.

Tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 60 do 130 MPa. Velike su razlike između jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka iz bušotine ST-03 gdje je čvrstoća u rasponu od 107 do 129 MPa i bušotine SO-07 gdje varira od 27 do 90 MPa što se može dovesti u vezu sa blizinom reversno navlačnog kontakta i učestalijih prslina u stijeni.

RQD u bušotini ST-03 prosječno je 64% dok je u SO-05 i SO-06 niži i iznosi 30 %.

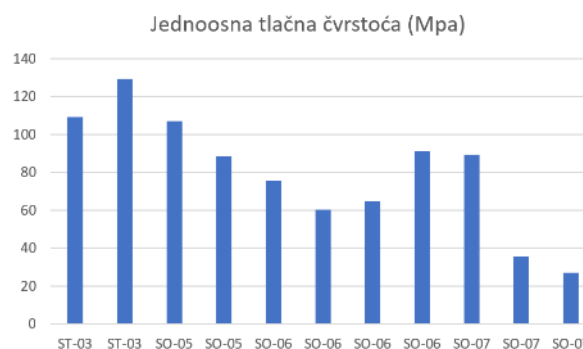


Slika 2. Presjeci rudista



Slika 3. Presjeci rudista

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
ST-03	0,51 – 0,77	109,03
ST-03	6,00 - 6,37	129,51
SO-05	6,17 - 6,43	107,09
SO-05	9,30 - 9,50	88,56
SO-06	4,22 – 4,32	75,45
SO-06	5,70 - 6,00	60,42
SO-06	7,60 – 7,87	65,06
SO-06	8,67 – 9,00	91,02
SO-07	2,40 – 2,80	89,25
SO-07	6,00 – 6,25	35,40
SO-07	10,20 – 10,55	26,92
Prosjek		79,79



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,54 – 2,69 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $5,286 \cdot 10^3$ – $6,488 \cdot 10^3$ m/s.

Lokacija 1b: Dretelj

Bušotine: SO-15, SO-16

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI; gornja kreda – turon-senon ($K_2^{2,3}$).

Opis stijene: Vapnenci su dobro uslojeni (30-80 cm) i debelo uslojeni do masivni (preko 1 m), tipa mudston, sive i svijetlosive boje, mjestimice gusto prošaran uskim i sljubljenim kalcitnim prslinama sa dosta ostataka rudista.

Ispitivanjem su utvrđene vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u rasponu od 25 – 86 MPa, a razlog ovako niskih vrijednosti je u stijenskoj masi prošaranoj gustim diskontinuitetima u vidu kalcitnih žilica i prslina.

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a se kreću u intervalu od 60 – 80 %.

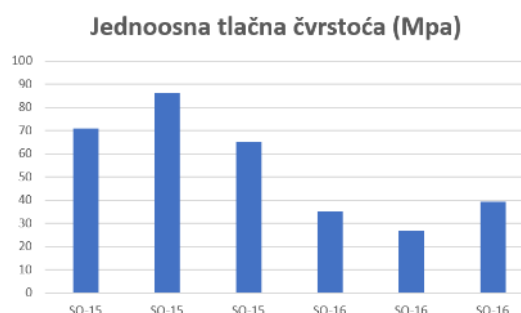


Slika 4. Uske i sljubljene kalcitne prsline



Slika 5. Limonitizirane prsline koje

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-15	2,40 – 2,55	70,96
SO-15	12,10 – 12,30	86,16
SO-15	15,10 – 15,40	65,03
SO-16	2,40 – 2,80	35,40
SO-16	6,00 – 6,25	26,92
SO-16	10,20 – 10,55	39,38
Prosjeak		53,97



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,64 – 2,71 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 5,455 * 10³ – 6,411 * 10³ m/s.

Lokacija 1c: Dretelj

Bušotine: SO-17, SO-18, SO-79, SO-80

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI; gornja kreda – turon (K₂²).

Opis stijene: Vapnenci su dobro uslojeni (15-60 cm), a lokalno i debelo uslojeni do masivni (preko 1 m), tipa mudston, sive i svijetlosive boje, sa dosta ostataka rudista, u izmjeni sa dolomitima.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-17	3,00 – 3,16	132,05
SO-17	4,00 – 4,25	161,54
SO-17	5,35 – 5,65	113,42
SO-17	9,45 – 9,70	149,92
SO-18	4,30 – 4,55	80,90
SO-18	8,50 – 8,70	68,98
SO-79	3,00 – 3,35	102,99
SO-79	8,00 – 8,25	74,57
SO-80	4,40 – 4,70	161,61
SO-80	9,60 – 10,00	202,31
Prosjeak		124,83



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće



Ispitivanjem su utvrđene visoke vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće i do 200 MPa.

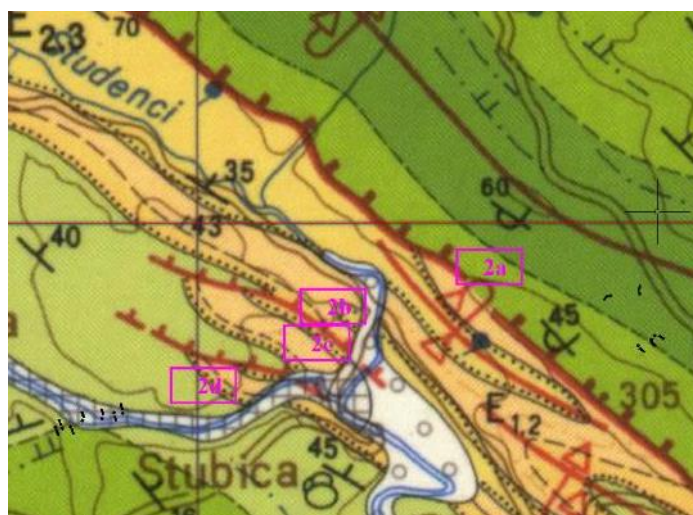
Iz podataka dobivenim bušenjem vrijednosti RQD-a se kreću u intervalu od 50 – 90 %.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,58 – 2,74 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $3,066 \cdot 10^3$ – $6,209 \cdot 10^3$ m/s.

PODRUČJE 2: ZVIROVIĆI - STUDENCI

Izdvojeno područje obuhvaća kredne i eocenske vapnence oko r. Studenčice i r. Trebižat.



Slika 6. Područje 2; Isječak iz OGK list Metković sa pozicijama istraženih lokacija

Lokacija 2a: Zvirovići

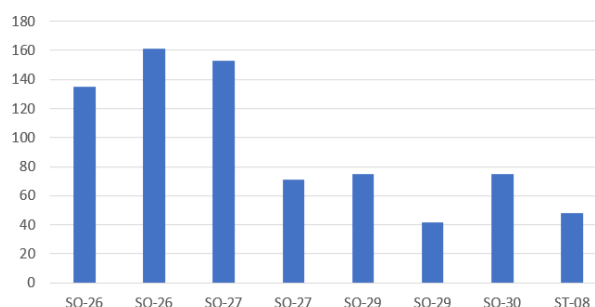
Bušotina: ST-08, SO-26, SO-27, SO-29 i SO-30

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI; gornja kreda – turon-senon (K₂^{2,3}).

Opis stijene: Vapnenac je svjetlosive do sive boje tipa madston, razlomljen do trošan. Jednoosna tlačna čvrstoća stijenske mase je u rasponu od 40 do 160 MPa.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-26	4,50 - 4,80	135,20
SO-26	7,10 - 7,50	161,51
SO-27	3,25 - 3,50	152,90
SO-27	7,55 - 7,90	70,95
SO-29	8,30 - 8,50	74,94
SO-29	9,70 - 9,80	41,95
SO-30	9,30 - 9,55	75,27
ST-08	7,00 - 7,13	48,08
Prosjeak		95,10

Jednoosna tlačna čvrstoća (Mpa)



RQD se kreće u širokom intervalu od 10 do 75% , a dok je prosječno manji od 30%.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,61 – 2,70 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $5,493 \cdot 10^3$ – $6,298 \cdot 10^3$ m/s.



Lokacija 2a: Zvirovići - Studenci

Bušotina: ST-09

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI; gornja kreda – turon-senon ($K_2^{2,3}$).

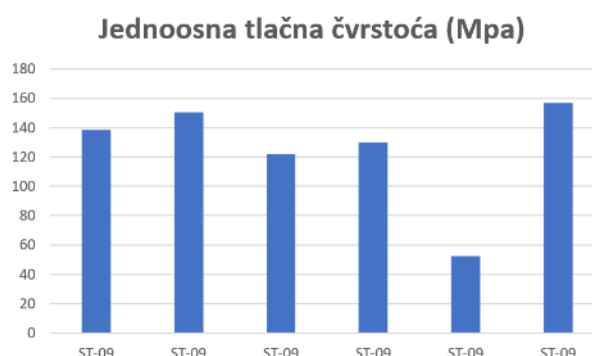
Opis stijene: Masivni i okršeni rudistni vapnenaci.



Slika 7 i 8. Izdanci masivnog vapnenca

Ispitivanjem je utvrđena vrijednost tlačne čvrstoće uglavnom od 120 - 150 MPa.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
ST-09	5,30 – 5,70	138,52
ST-09	6,20 - 6,50	150,28
ST-09	9,10 - 9,40	121,98
ST-09	10,65 - 10,80	130,07
ST-09	15,00 - 15,30	52,26
ST-09	15,70 - 16,00	156,96
Prosjeak		125,01



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a su uglavnom veće oko 80 %, rijetki su intervali sa nižim vrijednostima.

Lokacija 2b: Studenci između r. Studenčice i r. Trebižat

Bušotine: SO-35, SO-36 i SO-37

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-donjeg i srednjeg eocena ($E_{1,2}$).

Opis stijene: Naslage donjeg i srednjeg eocena predstavljene su foraminiferskim vapnencima, uglavnom tipa grejnston ili floutston, sive i smeđesive boje, mjestimice je prožet uskim kalcitnim žilicama i prslinama.

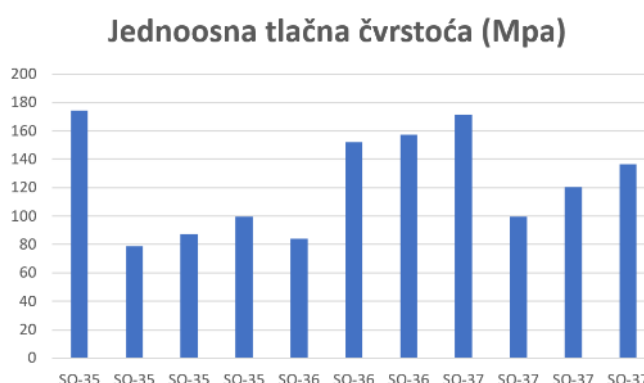
Ispitivanjem je utvrđena vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u rasponu od 80 – 170 MPa.

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a se uglavnom kreću u intervalu od 65 – 80 %, rijetki su intervali sa nižim vrijednostima.



Slika 9. Detalj foraminiferskog vapnenca

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-35	2,20 - 2,36	174,10
SO-35	6,25 - 6,50	78,95
SO-35	8,00 - 8,40	87,48
SO-35	20,45 - 20,75	99,45
SO-36	2,00 - 2,30	83,81
SO-36	8,00 - 8,30	151,87
SO-36	14,00 - 14,30	157,45
SO-37	3,20 - 3,45	171,46
SO-37	5,59 - 5,75	99,52
SO-37	7,45 - 7,75	120,33
SO-37	9,50 - 9,70	136,51
Prosjeak		123,72



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,57 – 2,68 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $6,088 \cdot 10^3$ – $6,331 \cdot 10^3$ m/s.

Lokacija 2c: Studenci između r. Studenčice i r. Trebižat

Bušotine: ST-10 i SO-38

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-gornja kreda - senon. (K₂³).

Opis stijene: Vapnenci su uglavnom masivni (preko 1 m) i dobro uslojeni (30 – 80 cm), tipa mudston, sive i tamnosive boje, mjestimice gusto prošaran uskim i sljubljenim kalcitnim rjeđe limonitiziranim prslinama koje mu daju brečastu strukturu.

Ispitivanjem u laboratoriju utvrđena je vrijednost tlačne čvrstoće u rasponu od 120 – 140 MPa. Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a se uglavnom kreću u intervalu od 50 – 70 %.

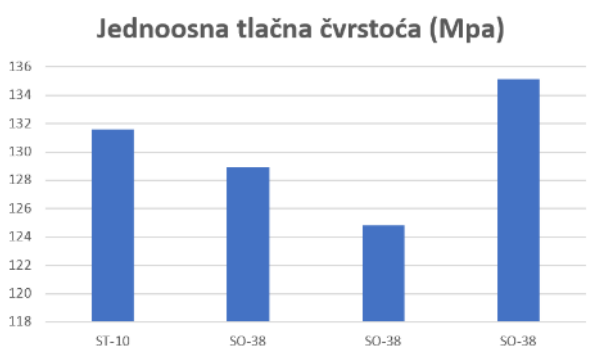


Slika 10. Uske i sljubljene kalcitne prsline



Slika 11. Limonitizirane prsline

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
ST-10	2,30 - 2,65	131,58
SO-38	4,10 - 4,50	128,96
SO-38	5,50 - 5,80	124,84
SO-38	8,35 - 8,55	135,11
Prosjeak		130,12



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Lokacija 2d: Studenci između r. Studenčice i r. Trebižat

Bušotine: SO-46, SO-47, SO-48, SO-49, SO-50, SO-51, STU-04, STU-05 i STU-06

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-gornja kreda - senon. (K_2^3).

Opis stijene: Izdvojeni rudistni vapnenci su najčešće debelo do masivno uslojeni, u slojeve debljine 50-80 cm do bankova. Rijetke su pojave tanje uslojenih vapnenaca. Na površini terena su česte ogoljene i intenzivno okršene vapnenačke površine.

Vapnenci su sive i svijetlosive boje, lokalno prošarani uskim kalcitnim žilicama, školjkastog loma i često sa puno ostataka ljuštura rudista.



Slika 12. Detalj vapnenca sa brojnim ostacima rudista

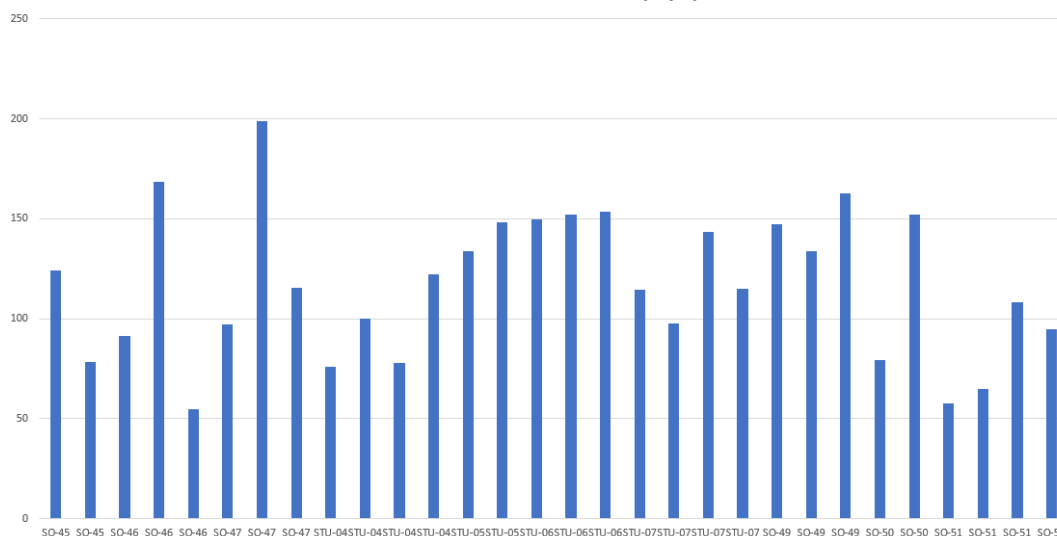


Slika 13. Detalj vapnenca i presjeci rudista



Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)		Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-45	3,30 - 3,80	124,10		STU-06	2,69 - 3,00	152,30
SO-45	7,30 - 7,60	78,32		STU-06	5,00 - 5,28	153,36
SO-46	3,05 - 3,17	91,26		STU-07	2,40 - 2,75	114,36
SO-46	5,60 - 5,76	168,35		STU-07	4,40 - 4,65	97,47
SO-46	6,70 - 7,00	54,64		STU-07	12,05 - 12,40	143,64
SO-47	4,00 - 4,30	96,95		STU-07	13,60 - 13,85	115,05
SO-47	7,30 - 7,60	199,00		SO-49	3,60 - 3,85	147,52
SO-47	10,00 - 10,20	115,35		SO-49	4,50 - 4,70	133,76
STU-04	4,50 - 4,75	75,97		SO-49	8,30 - 8,60	162,58
STU-04	8,10 - 8,40	99,90		SO-50	6,60 - 6,75	79,57
STU-04	11,30 - 11,60	78,09		SO-50	9,60 - 10,00	152,24
STU-04	14,25 - 14,50	122,02		SO-51	3,10 - 3,45	57,46
STU-05	12,70 - 12,85	133,72		SO-51	7,55 - 7,85	65,09
STU-05	14,10 - 14,35	148,25		SO-51	14,40 - 14,57	108,47
STU-06	2,04 - 2,24	149,63		SO-51	21,00 - 21,25	94,78
Prosjek						101,21

Jednoosna tlačna čvrstoća (Mpa)



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Mjerenjem na terenu i ispitivanjem u laboratoriju utvrđena je vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u rasponu od 60 – 200 MPa.

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 45 – 75 %, rijetki su intervali sa nižim vrijednostima.

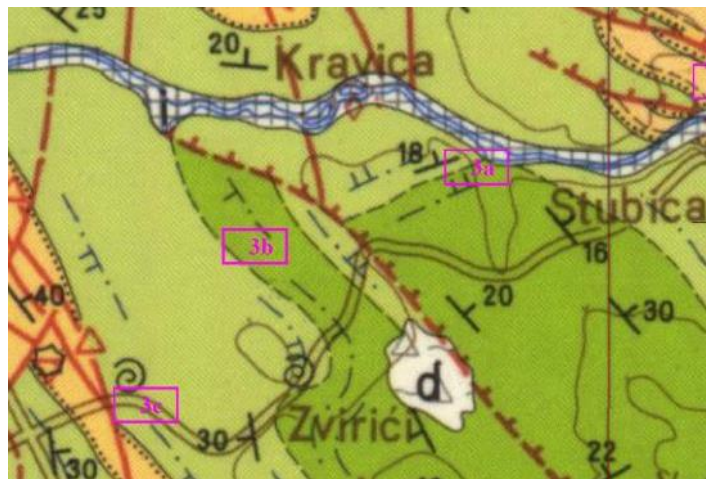
Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,48 – 2,71 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $3,275 \cdot 10^3$ – $6,400 \cdot 10^3$ m/s.



PODRUČJE 3: ZVIRIĆI - STUBICA

Izdvojeno područje obuhvaća kredne vapnence južno od r. Trebižat.



Slika 14. Područje 3; Isječak iz OGK list Metković sa pozicijama istraženih lokacija

Lokacija 3a: Stubica

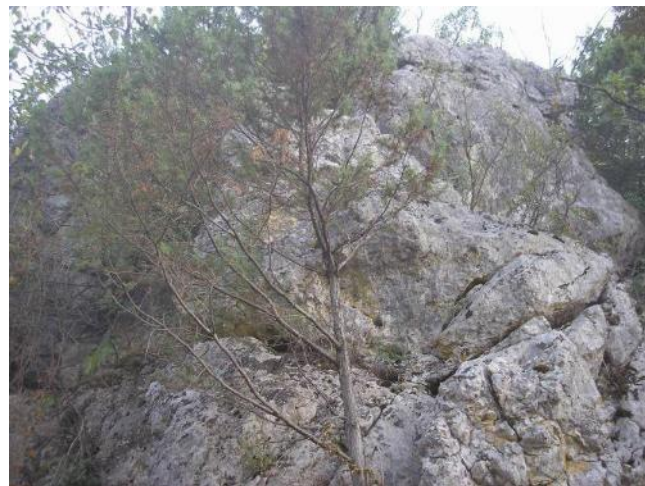
Bušotine: SO-52, SO-53, SO-54 i SO-55

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-gornja kreda - senon. (K_2^3).

Opis stijene: Na površini terena su izdvojene gornjokredne naslage (senon), zastupljene sa rudistnim vapnencima. Vapnenci su sive i svijetlosive boje, lokalno prošarani uskim kalcitnim žilicama, školjkastog loma i često sa puno ostataka ljuštura rudista.



Slika 15. Presjek rudista u jezgri



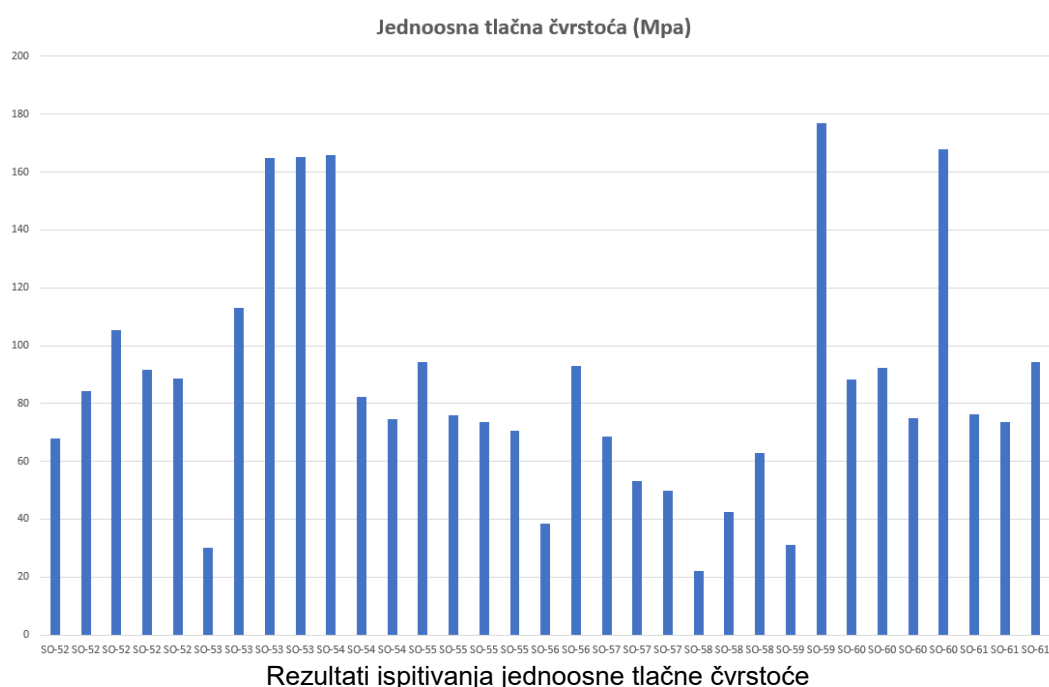
Slika 16. Masivni vapnenac

Izdvojeni rudistni vapnenci su dobro uslojeni sa debljinama slojeva od 10-40 cm, od 20-120 cm, te masivni sprudni vapnenci sa debljinama slojeva od 60-120 cm.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)	Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-52	5,45 - 5,65	68,03	SO-56	5,05 - 5,35	38,39
SO-52	7,40 - 7,85	84,20	SO-56	9,65 - 9,85	93,00
SO-52	12,10 - 12,50	105,28	SO-57	4,22 - 4,52	68,49
SO-52	16,35 - 16,65	91,49	SO-57	7,28 - 7,58	53,04



SO-52	19,30 - 19,60	88,64	SO-57	8,45 - 8,80	49,89
SO-53	3,50 - 3,85	30,00	SO-58	2,86 - 3,00	22,25
SO-53	7,35 - 7,65	113,08	SO-58	5,26 - 5,73	42,45
SO-53	12,20 - 12,60	164,80	SO-58	7,00 - 7,28	62,79
SO-53	13,55 - 13,80	165,20	SO-59	8,00 - 8,30	30,97
SO-54	5,50 - 5,73	165,80	SO-59	9,60 - 9,84	176,77
SO-54	6,40 - 7,00	82,16	SO-60	2,18 - 2,38	88,44
SO-54	9,55 - 9,85	74,60	SO-60	3,70 - 4,00	92,33
SO-55	2,69 - 2,90	94,42	SO-60	6,55 - 6,72	75,02
SO-55	5,35 - 5,66	76,07	SO-60	9,10 - 9,40	168,05
SO-55	11,20 - 11,55	73,45	SO-61	4,27 - 4,50	76,43
SO-55	13,80 - 14,00	70,68	SO-61	7,60 - 7,77	73,62
			SO-61	9,55 - 9,79	94,46
Prosjeak					86,49



Mjerenjem na terenu i ispitivanjem u laboratoriju utvrđena je vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u rasponu od 50-165 MPa. Na četiri uzorka ispitivanjem su dobivene niže vrijednosti a razlog ovako niskih vrijednosti je u stijenskoj masi prošaranom gustim diskontinuitetima u vidu kalcitnih žilica i prslina. Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 35 – 70 %.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,63 – 2,72 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $5,185 \cdot 10^3$ – $6,190 \cdot 10^3$ m/s.

Lokacija 3b: Stubica - Zvirici

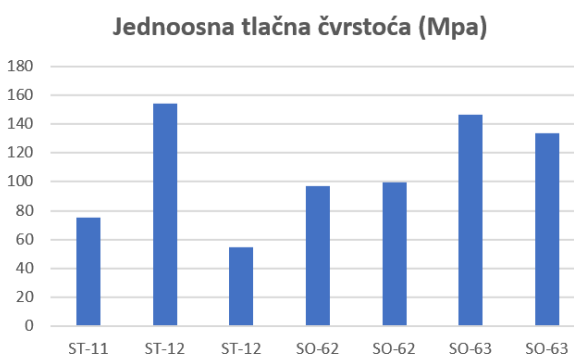
Bušotina: ST-11, ST-12, SO-62 i SO-63

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI; gornja kreda – turon-senon (K₂^{2,3}).

Opis stijene: Vapnenci su tipa madston do floutston, često su masivni-sprudni sa obiljem fosilnih ostataka rudista, formiraju blago nagnute kompaktne plohe, ili kompaktne masive koji strše iz okoline.



Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
ST-11	3,77 - 4,00	74,94
ST-12	6,80 - 7,10	154,48
ST-12	7,60 - 7,90	54,46
SO-62	2,70 - 3,00	97,29
SO-62	5,10 - 5,55	99,46
SO-63	2,50 - 2,80	146,45
SO-63	6,15 - 6,59	133,45
Prosjeak		107,71



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Ispitivanjem u laboratoriju utvrđena je vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u rasponu od 50-155 MPa.

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 20 % do 60 % dok prosječno iznosi 40%.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,66 – 2,73 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $6,202 \cdot 10^3$ – $6,308 \cdot 10^3$ m/s.

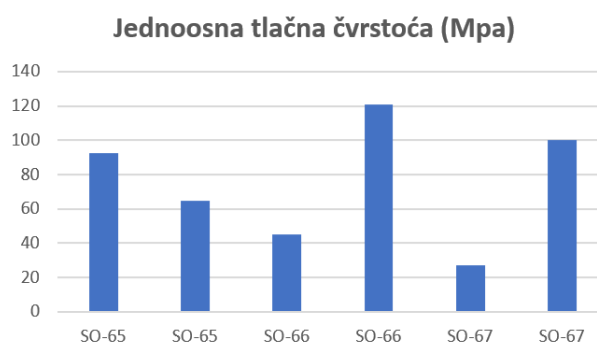
Lokacija 3c: Zvirici

Bušotine: SO-65, SO-66 i SO-67

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-gornja kreda - senon (K₂³).

Opis stijene: Na površini terena su izdvojene naslage gornjokrednih rudistnih vapnenaca senonske starosti, uglavnom tipa mudston sive do tamnosive boje, često prošaran uskim kalcitnim žilicama koji mu daju brečastu teksturu. Slojevitost je slabo naglašena, uglavnom su masivni i sprudni vapnenci. Tamo gdje se može uočiti slojevitost uglavnom su to debelouslojeni vapnenci u rasponu od 80 -120 cm, rjeđe 30-50 cm.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-65	3,67 - 3,90	92,73
SO-65	6,25 - 6,42	64,95
SO-66	3,05 - 3,30	45,09
SO-66	6,05 - 6,30	120,61
SO-67	5,37 - 5,60	26,91
SO-67	7,88 - 8,10	99,94
Prosjeak		75,04



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Mjerenjem na terenu i ispitivanjem u laboratoriju utvrđena je vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u rasponu od 45-120 MPa. Na jednom uzorku ispitivanjem su dobivene niže vrijednosti a razlog ovako niskih vrijednosti je u stijenskoj masi prošaranoj gustim diskontinuitetima u vidu kalcitnih žilica i prslina. Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 50-60 %.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,57 – 2,70 g/cm³



Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $5,576 \cdot 10^3$ – $6,088 \cdot 10^3$ m/s.

Lokacija 3d: Zvirici

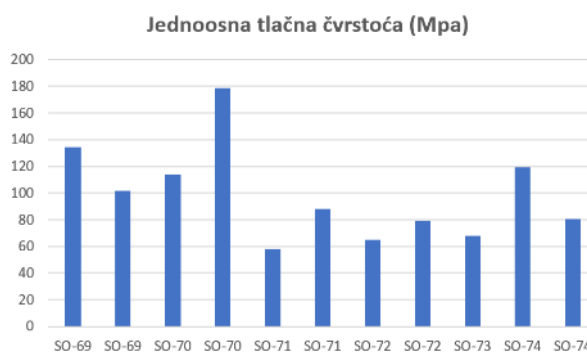
Bušotine: SO-69, SO-70, SO-71, SO-72, SO-73 i SO-74

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-donjeg i srednjeg eocena. (E_{1,2}).

Opis stijene: Na površini terena su izdvojene naslage donjeg i srednjeg eocena, koje izgrađuju južno krilo sinklinale, kao dijela razvijenog sinklinorija izgrađenog od paleogenskih vapnenaca. Naslage donjeg i srednjeg eocena predstavljene su foraminiferskim vapnencima, uglavnom tipa grejnston ili floutston, mjestimice je prožet uskim kalcitnim žilicama i prslinama.

Uglavnom su dobro uslojeni sa debljinama slojeva koja varira od tankouslojenih 10 – 20 cm do slojeva debljine 1 m. Slojne plohe su dobro izražene, na površini terena strše trošenjem nazubljeni slojevi.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-69	3,65 - 3,95	134,49
SO-69	4,78 - 5,00	101,44
SO-70	3,50 - 3,80	113,92
SO-70	4,50 - 4,71	178,70
SO-71	2,52 - 2,80	57,72
SO-71	6,73 - 7,00	88,10
SO-72	2,70 - 3,09	64,67
SO-72	5,20 - 5,42	78,78
SO-73	6,50 - 6,75	67,97
SO-74	5,55 - 5,85	119,48
SO-74	8,05 - 8,30	80,63
Prosjek		98,71



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Ispitivani uzorci imaju jednoosnu tlačnu čvrstoću u rasponu od 57 – 134 MPa.

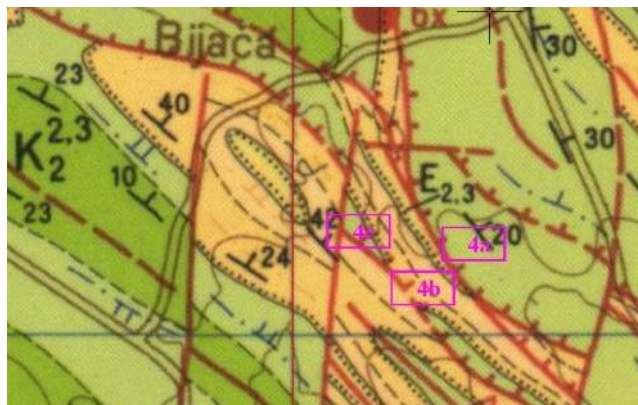
Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 45 – 65 % a rjeđe 75 – 90 %.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $2,57$ – $2,70$ g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $5,323 \cdot 10^3$ – $6,293 \cdot 10^3$ m/s.



PODRUČJE 4: BIJAČA



Slika 17. Područje 4; Isječak iz OGK list Metković sa pozicijama istraženih lokacija

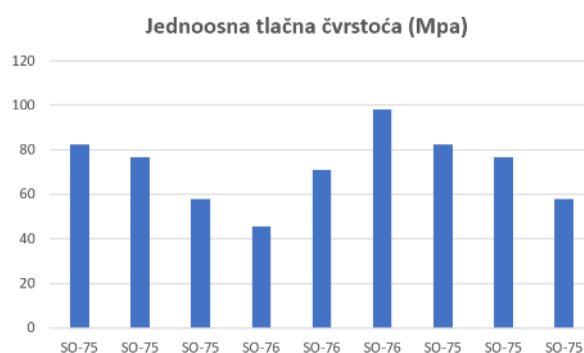
Lokacija 4a: Bijaca

Bušotine: SO-75 i SO-76

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-gornja kreda - senon. (K_2^3).

Opis stijene: Vapnenci su masivni i dobro uslojeni (60 – 80), tipa mudston, sive i tamnosive boje.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-75	4,75 - 4,95	82,39
SO-75	8,31 - 8,47	76,52
SO-75	9,30 - 9,50	57,79
SO-76	3,17 - 3,37	45,47
SO-76	4,54 - 4,74	70,96
SO-76	6,10 - 6,60	97,86
SO-75	4,75 - 4,95	82,39
SO-75	8,31 - 8,47	76,52
SO-75	9,30 - 9,50	57,79
Prosjek		72,27



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Ispitivani uzorci imaju jednoosnu tlačnu čvrstoću u rasponu od 50 – 97 MPa.

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 30 – 50 %.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,59 – 2,67 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $5,642 \cdot 10^3$ – $6,073 \cdot 10^3$ m/s.

Lokacija 4b: Bijaca

Bušotine: SO-77

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-donjeg i srednjeg eocena. ($E_{1,2}$).

Opis stijene: Vapnenci su uslojeni 28-85 cm te nerijetko masivni, tipa grejnston do floutston.



Slika 18. Foraminiferski vapnenac

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
SO-77	3,26 - 3,49	147,10
SO-77	7,42 - 7,92	114,23
SO-77	9,44 - 9,94	153,29
Prosjeak		138,20

Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Ispitivani uzorci imaju jednoosnu tlačnu čvrstoću u rasponu od 115 – 153 MPa.

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 35 – 65 %.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,66 – 2,68 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $6,044 \cdot 10^3$ – $6,126 \cdot 10^3$ m/s.

Lokacija 4c: Bijača**Bušotine:** ST-13 i ST-14**Litostratigrafska jedinica:** VAPNENCI; gornja kreda – turon-senon (K₂^{2,3}).

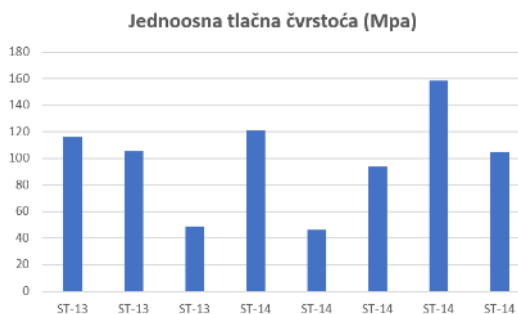
Opis stijene: Vapnenci su uglavnom dobro uslojeni do bankoviti i masivni, tipa madston, prošarani uskim kalcitnim žilicama, a lokalno su zabilježene pojave proslojaka brečaste strukture. Debljina slojeva je u granicama od 40 -120 cm.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
ST-13	5,58 - 5,98	115,83
ST-13	9,05 - 9,26	105,58
ST-13	10,63 - 10,90	49,02
ST-14	4,38 - 4,66	120,85
ST-14	5,30 - 5,70	46,44
ST-14	9,70 - 10,00	93,87
ST-14	12,33 - 12,73	158,51
ST-14	14,00 - 14,21	104,85
Prosjeak		99,37

Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Ispitivani uzorci imaju jednoosnu tlačnu čvrstoću u rasponu od 50 – 158 MPa.

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 50 – 70 %.





PODRUČJE 5: KLOBUK

Izdvojeno područje obuhvaća kredne vapnence uz r. Mlade - Tihaljina



Slika 19. Područje 5; Isječak iz OGK list ploče sa pozicijama istraženih lokacija

Lokacija 5a: Koćuša – r. Mlade-Trebižat

Bušotine: ST-1 i P-1

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-gornja kreda - senon (K_2^3).

Opis stijene: Vapnenci su slojevite do bankovite, rijetko masivne teksture i kristalaste do kriptokristalaste strukture. Vrlo složeni tektonski sklop uz višekratno obnavljanje tektonske aktivnosti znatno je utjecao na degradaciju stijenskih masa, njihovu povećanu ispucanost, diskontinuiranost, povećanu vodopropusnost i degradaciju kvaliteta.

Mjerenjem na terenu i ispitivanjem u laboratoriju utvrđena je vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u rasponu od 55 – 78 MPa.

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
ST-1	16,85 – 17,00	64,17
ST-1	17,50 – 17,65	54,98
P-1	21,30 – 21,50	78,32
Prosjek		65,82

Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u vrijednostima do 20 %, odnosno vapnenci u bušotinama, spadaju u jako ispucale stijene, male čvrstoće i slabog kvaliteta (RQD= 7-23).

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,58 – 2,70 g/cm³

Lokacija 5b: Klobuk – r. Tihaljina

Bušotine: K-2

Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-gornja kreda - senon (K_2^3).

Opis stijene: Vapnenci je svijetlosive boje, ispucao, blokovski izdijeljen, slojevit do bankovite, kristalaste do kriptokristalaste strukture.



Slika 20. Detalj jezgre vapnenca

Iz podataka dobivenih bušenjem vrijednosti RQD-a uglavnom se kreću u intervalu od 37-75 % (prosjek = 57%),

Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
KL-2	5,00 – 5,30	83,26
KL-2	11,10 – 11,55	83,60
Prosjek		83,43

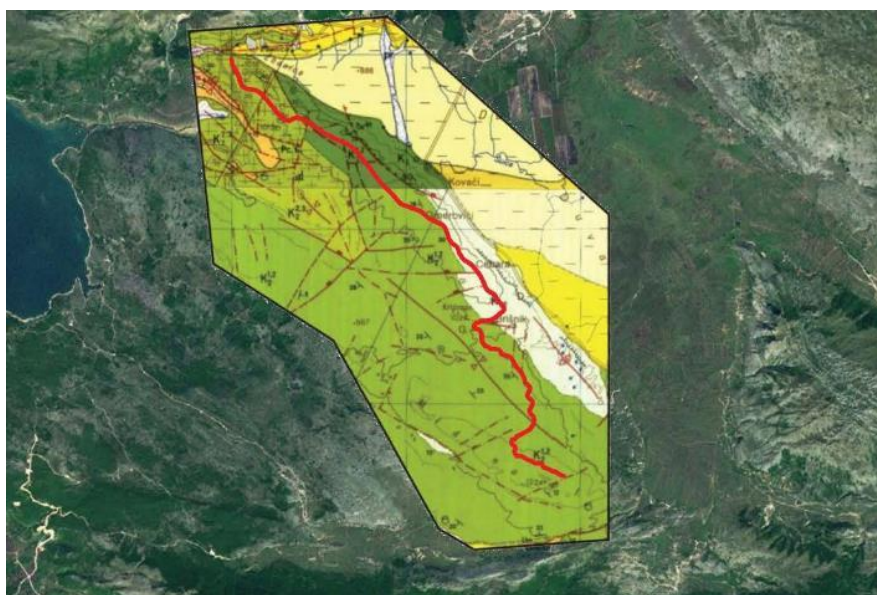
Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

Ispitivani uzorci imaju jednoosnu tlačnu čvrstoću od 83 MPa.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,69 – 2,73 g/cm³

PODRUČJE 6: TOMISLAVGRAD – GORNJI BRIŠNIK

Izdvojeno područje obuhvaća kredne vapnence Moidene i Grabovice, odnosno karbonatni prevoj između duvanjskog polja sa istočne strane i Roškog polja odnosno Buškog blata sa zapada. Prikazani podaci rezultat su istraživanja za potrebe izgradnje Vjetroelektrane Mesihovina.



Slika 21. Područje 6; Isječak iz OGK sa ortofotom snimkom područja



Litostratigrafska jedinica: VAPNENCI-gornja kreda (K_2).

Opis stijene: Vapnenci su dobro uslojeni, tamno sive do sive boje tipa grejston i izražene brečaste teksture prošaran kalcitnim žilicama. Lokalno vapnenac je naglašeno tamnosive boje sa uskim žilicama tamnosivog bitumeniziranog vapnenca.



Slika 22. Brečasta struktura vapnenca



Slika 23. Brečasta struktura



Slika 24. Kalcitne žilice



Slika 25. Presjeci rudista

Mjerenjem na terenu i ispitivanjem u laboratoriju utvrđena je vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće u rasponu od 39-140 MPa. Razlog nešto nižih vrijednosti na pojedinim uzorcima je zbog stijenske mase lokalno prošarane gustim diskontinuitetima u vidu kalcitnih žilica i prslina.

RQD: Mjerene vrijednosti RQD-a su u rasponu 45 – 80 %.

Laboratorijskim ispitivanjima jednoosne tlačne čvrstoće nakon 25 ciklusa smrzavanja utvrđene su vrijednosti u rasponu od 28,50 - 53,20 MPa.

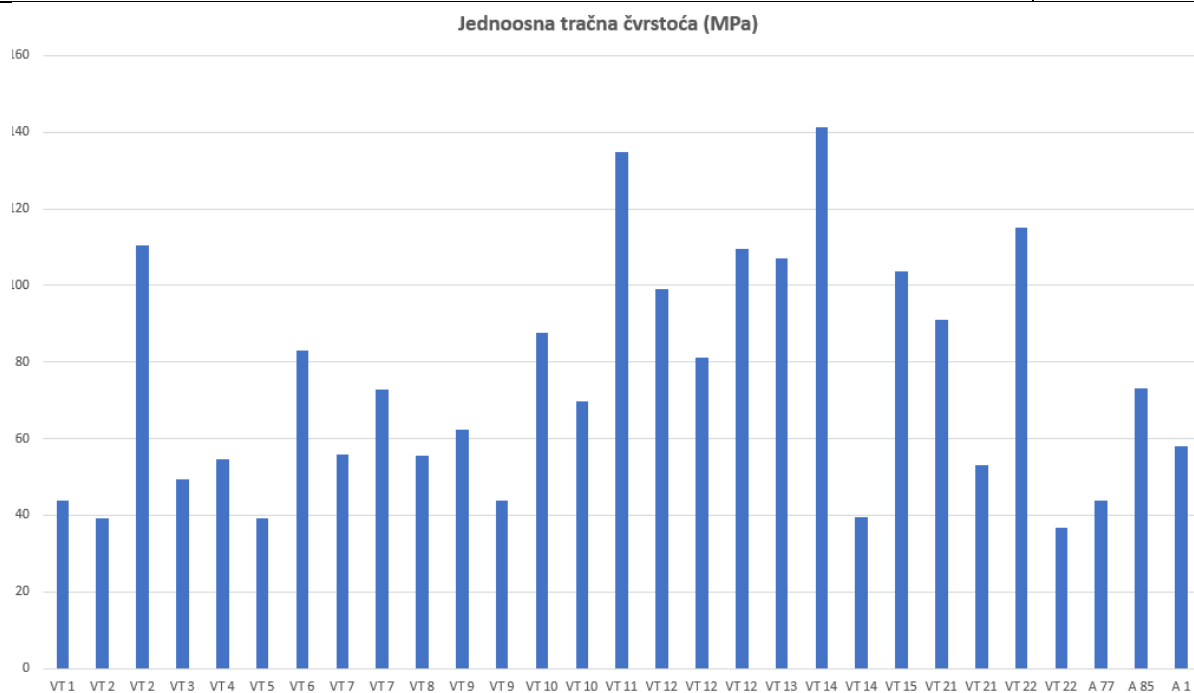
Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina (Norma BS 1377-P2-7.2:1990), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,57 – 2,71 g/cm³

Laboratorijskim ispitivanjima sadržaja kalcij karbonata CaCO₃ (Norma HRN U.B1.026:1968), utvrđene su vrijednosti u rasponu od 94,12 – 97,51 %.

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom (SM ISRM:1978), utvrđene su vrijednosti u rasponu od $5,724 \cdot 10^3$ – $6,182 \cdot 10^3$ (m/s).



Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)		Bušotina	Interval uzorka Dubina (m)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)
VT 1	7,20-7,40	43,80		VT 12	6,40-6,65	98,90
VT 2	3,23-3,48	39,30		VT 12	9,25-9,85	81,10
VT 2	9,42-9,58	110,56		VT 12	14,25-14,53	109,50
VT 3	8,10-8,35	49,30		VT 13	9,00-9,54	107,10
VT 4	3,00-3,20	54,60		VT 14	3,25-3,50	141,40
VT 5	4,20-4,40	39,10		VT 14	14,35-14,72	39,60
VT 6	5,00-5,20	83,10		VT 15	8,50-8,80	103,60
VT 7	2,00-2,18	56,00		VT 21	19,20-19,50	91,10
VT 7	3,26-3,46	72,88		VT 21	12,20-12,42	53,20
VT 8	4,00-4,20	55,50		VT 22	5,55-5,77	114,96
VT 9	5,85-6,00	62,30		VT 22	14,00-14,25	36,80
VT 9	7,00-7,27	43,70		A 77	4,00-4,30	43,90
VT 10	6,10-6,45	87,50		A 85	3,00-3,35	73,00
VT 10	12,75-13,00	69,66		A 1	6,20-6,50	57,90
VT 11	10,38-10,60	134,90				
Prosjeck						74,28



Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće

3. ZAKLJUČAK

Svjedoci smo projektiranja i gradnje značajnih infrastrukturnih objekata pa su zadnjih godina provedena opsežna i vrlo detaljna geotehnička istraživanja na području Hercegovine. Najveći dio se istraživanja je proveden u karbonatnim stijenama, uglavnom vapnencima kredne i eocenske starosti. Terenski rad i laboratorijska ispitivanja za ovakve projekte mogu poslužiti da se prikupi što više «inženjerskih» podataka, kako bi se stvorila što objektivnija slika o ukupnim geološkim značajkama stijenske mase. Fizičko-mehanička svojstva stijena uvjetovana su cijelim nizom značajki: litološkim sastavom, strukturom, teksturom, diagenetskim procesima i trošenjem. Geotehnička istraživanja



stijenske mase obično podrazumijevaju ispitivanja osnovnih mehaničkih svojstva kao što je čvrstoća i deformabilnost, čije se vrijednosti najčešće određuju postupcima laboratorijskih ispitivanja na uzorcima. Uzorak intaktne stijene predstavlja zapravo cjelovit uzorak stijene bez većih vidljivih oštećenja, odnosno pukotina ili oslabljenja materijala, uslijed kojih bi se on raspadao. Većina postupaka laboratorijskih ispitivanja propisana je preporučenim metodama (Suggested Methods, SM) izdanih od strane Međunarodnog društva za mehaniku stijena (International Society for Rock Mechanics, ISRM) ili ASTM (American Society for Testing and Materials) normama, a neki postupci i drugim nacionalnim normama ili normama ISO organizacije (International Organization for Standardization).

Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće dobiveni i u radu prikazani i variraju u širokom rasponu što je prije svega posljedica varijabilne strukture, teksture i kvalitete veziva. Svakako treba ukazati i razlikovati uzorke intaktne stijena (intact rock) kao dio stijenske mase predstavljen cijelom jezgrom iz bušotine koja ne sadrži guste strukturne diskontinuitete, od stijenske mase (rock mass) - stijena kakva se javlja in-situ, uključujući njene strukturne diskontinuitete.

Na 166 uzoraka krednih vapnenaca iz 71 istražne bušotine dobivena je prosječna vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće od 95 MPa, gdje više od 57 % uzoraka ima vrijednosti veće od 80 MPa.

< 40 MPa	6,63 % uzoraka
40 – 60 MPa	15,06 % uzoraka
60 – 80 MPa	21,08 % uzoraka
80 – 100 MPa	19,28 % uzoraka
100 – 130 MPa	15,66 % uzoraka
>130 MPa	22,29 % uzoraka

Na 25 uzoraka eocenskih vapnenaca iz 10 istražne bušotine dobivena je prosječna vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće od 115 MPa.

Laboratorijskim ispitivanjima gustoće – volumne težina, utvrđene su vrijednosti u rasponu od 2,48 – 2,73 g/cm³.

Laboratorijskim ispitivanjima brzine prostiranja elastičnih valova ultrazvukom, utvrđene su vrijednosti u rasponu od $5,400 \cdot 10^3$ – $6,400 \cdot 10^3$ (m/s).

LITERATURA

1. Bieniawski, Z. T. (1989): Engineering rock mass classifications. John Wiley & Sons, New York, str. 251
2. ISRM (1978): Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses.- Int. Jr. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, pp. 319-368, Pergamon Press, GB.
3. IGH-Mostar d.o.o.; Institut IGH d.d. PC Split; (2011); Laboratorijska ispitivanja fizikalno - mehaničkih osobina stijene i tla na lokaciji VE Mesihovina
4. Leko, I., Raguž, N., Bukovac, A., Pandža, R., (2011): Geotehnička i geofizička istraživanja za VE Mesihovina; Knjiga 1. Geotehnički elaborat - Misija G21; Konzorcij: Geo-Marić d.o.o. Mostar, Vran Dukić d.o.o. Tomislavgrad, IGH-Mostar d.o.o., Institut IGH d.d. Zagreb
5. Marinčić, J., Šerifović, E., (2009): Autoput na koridoru Vc, Dionica Počitelj - Bijača, Geotehnički istražni radovi. Knjiga G 2070 Inženjerskogeološki istražni radovi, Cerberus d.o.o., Tuzla
6. Pinjuh, I., Rokić, Lj., Langof, Z., Martinović, D., (2006) Izvješće o provedenim istražnim radovima, za potrebe izrade Feasibility study energetskog korištenja sliva T-M-T (I. faza), KNJIGA 1. MHE KLOKUN; Geotehnika 94 d.o.o. Mostar
7. Pinjuh, I., Rokić, Lj., Langof, Z., Martinović, D., (2006) Izvješće o provedenim istražnim radovima, za potrebe izrade Feasibility study energetskog korištenja sliva T-M-T (I. faza), KNJIGA 2. MHE KOČUŠA; Geotehnika 94 d.o.o. Mostar
8. Pollak, D.: Utjecaj trošenja karbonatnih stijenskih masa na njihova inženjerskogeološka svojstva, Doktorska disertacija, Rudarsko geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2007.
9. Rajić, V., Papeš, J. (1977): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100 000 Tumač za list Metković. SGZ Beograd.



10. Rajić, V., Papeš, J., Behilović, S., Crnolatac, I., Mojičević, M., Ranković, M., Slišković, T., Đorđević, B., Golo, B., Ahac, A., Luburić, P. Marić, L.J. (1975): Osnovna geološka karta SFRJ M 1:100 000 list Metković. SGZ Beograd.
11. Šaravanja, K, Marić, T., Radić Kustura, J., Šaravanja, V. (2012.): Prikaz rezultata ispitivanja arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena, Hrvatsko društvo kamenoklesara, geologa i rudara „Zvuk kamena“, Zbornik radova 2, Posušje, XII. 2012.